

Laser scanning microscope for defect detection in materials, especially structured silicon wafers

Patent Number: DE19733194

Publication date: 1999-02-04

Inventor(s): SIMON ULRICH DR [DE]; DANZ RAINER DIPL PHYS [DE]; WOLLESCHENSKY RALF [DE]

Applicant(s): ZEISS CARL JENA GMBH [DE]

Requested Patent: DE19733194

Application Number: DE19971033194 19970801

Priority Number(s): DE19971033194 19970801

IPC Classification: G02B21/00

EC Classification: G02B21/00M4

Equivalents: JP11125509

---

#### Abstract

The confocal laser scanning microscope has a short pulse laser (1) for multiple photon stimulation. It can be operated using the light induced voltage alteration or optical beam induced current method. The pulse duration of the laser pulses lies in the picosecond or subpicosecond range. The laser can be combined with a confocal scanning microscope for optical detection.

DE 197 33 194 A1

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 33 194 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 21/00**

⑳ Aktenzeichen: 197 33 194.7  
㉔ Anmeldetag: 1. 8. 97  
㉕ Offenlegungstag: 4. 2. 99

⑦① **Anmelder:**  
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

⑦② **Erfinder:**  
Simon, Ulrich, Dr., 07743 Jena, DE; Danz, Rainer,  
Dipl.-Phys., 07768 Kahla, DE; Wolleschensky, Ralf,  
99510 Schöten, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Der Inhalt dieser Schrift weicht von dem am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

⑤④ **Laser-Scanning-Mikroskop**

⑤⑦ Die Erfindung beschreibt den Einsatz der Multi-Photonen-Laserscanning-Mikroskopie in der Materialuntersuchung, insbesondere der Untersuchung von strukturierten Silizium-Wafern mittels nicht-optischen Nachweistechniken, wie OBIC (Optical Beam Induced Current) oder LIVA (Light Induced Voltage Alteration). OBIC, bzw. LIVA nutzen die Erzeugung eines Elektronen-Loch-Ladungsträgerstroms, bzw. einer Potentialänderung durch den gesteuerten Laserstrahl zur Lokalisation von Gitterfehlstellen in kristallinen Materialien, insbesondere pn-Übergängen. Durch die hohe Lokalisierung der Multi-Photonen-Anregung in allen drei Raumkoordinaten bei Einsatz von hochaperturigen Mikroskop-Objektiven in der Laser-Scanning-Mikroskopie wird mit dieser Technik eine zerstörungsfreie dreidimensionale Lokalisierung von Kristalldefekten möglich. Diese Technik umgeht damit vorteilhaft den Nachweis von Gitterdefekten mittels der Laser-Scanning-Mikroskopie in 2D und das anschließend erforderliche sukzessive mechanische Abtragen der Kristallstruktur, gekoppelt mit der Elektronenmikroskopie zur Detektion der Fehlstelle auch in der dritten Dimension.

DE 197 33 194 A 1

DE 197 33 194 A 1

## Beschreibung

Bei der 2-Photonen-Anregung (als Spezialfall der Multi-Photonen-Anregung) handelt es sich um die Anregung eines Übergangs in der Anregungsstruktur (Termischema) eines Gases, einer Flüssigkeit oder eines Festkörpers (wie elektronische, Vibrations-, Rotationsübergänge oder Feinstrukturen) durch die quasi-simultane Absorption zweier Photonen der längeren Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  (wobei  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  gleich oder unterschiedlich sein können), wozu anderenfalls ein einzelnes Photon der kürzeren Wellenlänge  $(\lambda_1 + \lambda_2)/4$  erforderlich wäre. Zwei Photonen im "Langwelligen" (z. B. im Roten) können so z. B. einen UV-absorbierenden Übergang anregen, der üblicherweise (d. h. im konventionellen 1-Photonen-Anregungsfall) im "Kurzwelligen" (z. B. im Blauen) absorbiert (Abb. 1a und b). Da zur Anregung eines 2-Photonen-Überganges jeweils 2 Photonen benötigt werden, hängt die Übergangsrate für einen gegebenen Übergang vom Quadrat der Anregungsintensität ab. Zur 2-Photonen-Anregung werden daher i. a. intensive gepulste Laserquellen eingesetzt, wobei bei konstanter mittlerer Lichtleistung die 2-Photonen-Übergangs-Wahrscheinlichkeit zunimmt, wenn kürzere, dafür aber intensivere Lichtpulse eingesetzt werden.

Die erste experimentelle Beobachtung einer 2-Photonen-Absorption 1961 durch Kaiser und Garrett beschreibt die Anregung eines  $\text{Eu}^{2+}$  dotierten  $\text{CaF}_2$  Kristalls im optischen Bereich, die erst nach der Entwicklung von hochleistungs-monochromatischen Rubinlasern möglich wurde. Theoretisch beschrieben wurde die Möglichkeit der 2-Photonen-Absorption oder 2-Photonen stimulierte Emission bereits 1931 durch Maria Göpper-Mayer. Der Einsatz der 2-Photonen-Technik in der Laser Scanning Mikroskopie wurde erstmals durch Denk, Strickler und Webb (1990) vorgeschlagen.

Aus WO 91/07651 ist ein Zwei-Photon-Laser-Scanning-Mikroskop bekannt, mit Anregung durch Laserpulse im Subpicosekundenbereich bei Anregungswellenlängen im roten oder infraroten Bereich.

EP 666473 A1, WO 95/30166, DE 44 14 940 A1 beschreiben Anregungen im Picosekundenbereich und darüber, mit gepulster oder kontinuierlicher Strahlung. Ein Verfahren zum optischen Anregen einer Probe mittels einer Zwei-Photonen-Anregung ist in DE C2 43 31 570 beschrieben.

DE 296 09 850 der Anmelderin beschreibt die Einkopplung der Strahlung von KurzpulsLasern in einen mikroskopischen Strahlengang über Lichtleitfasern.

## Stand der Technik

In der Detektion von Gitterdefekten werden heute i. a. Prober-Techniken, wie OBIC und LIVA eingesetzt. Bei OBIC (Optical Beam Induced Current) handelt es sich um die Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren mittels hinreichend energetischer Laserstrahlung, d. h. Photonen, die den Bandabstand des untersuchten Halbleiters überspringen können (d. h. die Energie der eingestrahlten Photonen ist größer als die Bandlückenenergie  $E_G$  des Halbleiters; Abb. 2). Der auf diese Weise durch den scannenden Laserstrahl erzeugte ortsabhängige Ladungsträgerstrom kann zur Lokalisierung von Gitterfehlstellen im Kristall herangezogen werden. Dazu wird entweder der zu untersuchende Wafer kontaktiert (prober station) oder der Wafer wird "gepackaged" und die Technik am fertigen integrierten Schaltkreis angewandt. Dieser Ladungsträgerstrom bildet nach Verstärkung das "Videosignal" in Abhängigkeit der Scanposition (nicht-optisches Detektionssignal). Nachteil dieser Methode ist, daß die Erzeugung von Elektron-Loch Paaren auf diese Weise

nicht z-selektiv ist. Dadurch wird zur Bereitstellung der z-Information erforderlich, daß nach Lokalisierung einer Fehlstelle mittels der 2D-Technik der Wafer mühsam Schicht für Schicht abpoliert wird und nach jedem Polierschritt mittels Elektronen-Mikroskopie inspiziert wird, um den Defekt auch in der z-Koordinate zu lokalisieren. LIVA (Light Induced Voltage Alteration) ist eine der OBIC-Technik verwandte Technik, wobei eine konstante Spannung an die Prober-Elektroden (oder die IC-Pins) angelegt wird und Spannungsänderungen in Abhängigkeit des scannenden Laserstrahls detektiert werden.

Zur Untersuchung von Silizium-Wafern mittels 1-Photonen-Laser-Scanning Mikroskopie nutzt man i. a. einen scannenden nah-infraroten Laserstrahl (z. B. Nd:YAG-Laser bei einer Wellenlänge  $\sim 1064 \text{ nm}$ ), der hinreichend gut auch durch dotiertes Silizium transmittiert wird und damit tief in den Silizium-Wafer einzudringen kann. Insbesondere wird es damit möglich, bei optisch undurchdringbarer Metallbeschichtung der IC-Oberseite, mit dem Laserstrahl das ganze Silizium-Substrat (einige mm Dicke) von hinten optisch zu durchdringen (Backside-Imaging oder Backside OBIC), um die strukturierte Oberseite zu erreichen.

## 3D-OBIC

Die Erfindung beschreibt den Einsatz der Multi-Photonen-Laserscanning-Mikroskopie in der Materialuntersuchung, insbesondere der Untersuchung von strukturierten Silizium-Wafern mittels nicht-optischen Nachweistechiken, wie z. B. OBIC oder LIVA. Durch die hohe Lokalisierung der Multi-Photonen-Anregung in allen drei Raumkoordinaten bei Einsatz von hochaperturigen Mikroskop-Objektiven wird dadurch die zerstörungsfreie dreidimensionale Lokalisierung von Kristalldefekten in den Halbleiterstrukturen möglich. Diese Technik umgeht vorteilhaft den Nachweis von Gitterdefekten mittels 2D-Techniken (z. B. der Laser-Scanning Mikroskopie, nicht-konfokal oder bei Nachweis nicht-optischer Detektionssignale) und das anschließend erforderliche sukzessive mechanische Abtragen der Kristallstruktur, gekoppelt mit der Elektronenmikroskopie zur Detektion der Fehlstelle auch in der dritten Dimension.

In vielen Fällen ist man an der räumlichen (x-y-z) Auflösung der zu untersuchenden Silizium-Strukturen in 3D interessiert. Durch die Verwendung von Anregungslicht im NIR ( $\lambda > 1100 \text{ nm}$ ), d. h. jenseits der Bandkante von Silizium erreicht man, daß die Strahlung mit geringer Absorption durch das i. a. dicke (i. a. dotierte) Silizium-Substrat transmittiert wird. Nur am Ort des durch das i. a. hoch-aperturige Mikroskop-Objektiv geformten Fokus erreicht man dann hinreichend hohe Intensitäten, daß Elektronen-Loch Paare durch den nicht-lineare Multi-Photonen-Anregungsprozeß generiert werden. Mit Hilfe der 2-Photonen-Mikroskopie lassen sich damit nur Strahlung im Wellenlängenbereich des "optischen Fensters" von Silizium, mit hoher z-Diskriminierung Elektron-Loch-Paare induzieren.

## Abbildungen

Fig. 1a Darstellung der Propagation des mittels eines hochaperturigen Mikroskop-Objektivs fokussierten Laserstrahls. Im 1-Photonen-Anregungsfall resultiert Anregung längs des gesamten Laserstrahlkonus. Durch den Einsatz einer konfokalen Blende kann jedoch das aus dem Fokus kommende Licht gegen das außerfokale Licht diskriminiert werden.

Fig. 1b Darstellung der Propagation des mittels eines hochaperturigen Mikroskop-Objektivs fokussierten Laserstrahls. Im 2-Photonen-Anregungsfall resultiert nur in der

Region höchster Intensität, d. h. im Laserstrahlfokus. Damit ist diese Technik auch ohne den Einsatz einer konfokalen Blende tiefendiskriminierend.

Fig. 2 Ist die Bandlückenenergie  $E_G$  kleiner als die Photonenenergie  $E$  des einfallenden Lichtes, entstehen in einem Halbleiter Elektron-Loch Paare (1). Im homogenen Halbleiter rekombinieren sie i. a. sehr schnell. Geschieht das in der Nähe eines gesperrten p-n-Übergangs, findet die Trennung der Löcher und Elektronen statt (2). Da die Elektronen vom p-dotierten Bereich in den n-dotierten Bereich hinüberdiffundieren, fließt ein lichtinduzierter Strom, der über einen Verstärker 3 detektiert wird. An entsprechenden Kontaktpunkten wird dieser Strom in Abhängigkeit von der Position, d. h. synchron zur Abtastung des scannenden Laserspots registriert und zum Aufbau eines elektronischen Bildes verwendet.

Fig. 3 Kombination von konfokaler Laser Scanning Mikroskopie und Multi-Photonen-Anregung in einem Gerätssystem (am Beispiel eines inversen Mikroskopsystems).

Fig. 3 zeigt beispielhaft die Kombination eines konfokalen Laserscanningmikroskopes mit einem System zur Multi-photonenanregung.

Hier sind ein Kurzpuls-Laser 1 und ein weiterer Laser 2 in einem gemeinsamen Gehäuse 3 vorgesehen, als Bestandteil eines Scankopfes eines Laser-Scanning-Mikroskopes oder als separate Einheit, die in bekannter Weise (US Ser. No. 08/826,906, DE-U-296 09 850) über Lichtleitfasern mit einer Scaneinheit verbunden sind.

Das Laserlicht der Laser 1 und 2 gelangt über einen Strahlteiler 4, einen weiteren dichroitischen Strahlteiler 5 auf eine zweidimensionale Ablenkvorrichtung 6 und von dieser über eine Scanninglinse 7 und eine Tubuslinse 8 sowie einen weiteren Strahlteiler 9 und die Objektlinse 10 auf das Objekt 11, das zumindest in vertikaler Richtung definiert verstellbar ist.

Das vom Objekt 11 kommende Licht gelangt über den Strahlteiler 9 auf einen Direkt-detektor 12 mit vorgeordnetem Filter 13 sowie einer Abbildungsoptik 14, um eine Detektion ohne den Durchgang des Objektlichtes durch den Scanstrahlengang zu ermöglichen, was gerade für die Multi-photonenanwendung von Bedeutung ist.

Über den Strahlteiler 9 wird weiterhin ein LSM Standard-Detektionsstrahlengang in Richtung eines Detektors 15 mit vorgeordnetem Pinole 17 sowie Filter 16 ausgeblendet. Weiterhin ist eine nichtoptische Detektion 18 gemäß Fig. 2 synchron zur Laserabtastung (Lit.) vorgesehen.

Optische Vorgänge direkt an der Probe, ohne den Abbildungsstrahlengang des Mikroskops, werden durch einen weiteren Detektor 19 oder eine Bildaufnahmeeinheit zusätzlich erfaßt.

#### Patentansprüche

1. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop zur Erzeugung nichtoptischer Nachweise für Fehlstellen bei der Materialuntersuchung mit einem Kurzpuls-Laser zur Mehrphotonenanregung.
2. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach Anspruch 1, anwendbar bei der Halbleiterinspektion nach dem OBIC oder LIVA-Verfahren.
3. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, anwendbar bei der Inspektion strukturierter Silizium-Wafer.
4. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, zur zerstörungsfreien dreidimensionalen Lokalisierung von Kristalldefekten.
5. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach min-

destens einem der vorangehenden Ansprüche, zur Detektion von Strömen in Synchronisation mit der Abtastung.

6. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, mit Pulsdauern des Lasers im Picosekunden- oder Subpicosekundenbereich.

7. Kombination des Laser-Scanning-Mikroskops nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche mit einem konfokalen Scanningmikroskop zur optischen Detektion.

8. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei neben dem Kurzpuls-Laser mindestens ein weiterer Laser in den Scanstrahlengang eingekoppelt wird.

9. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, mit Mitteln zur optischen Detektion der von der Probe kommenden Strahlung.

10. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, mit zusätzlichen optischen Detektionsmitteln zur Erfassung von der Probe kommender Strahlung direkt, d. h. vor dem Rücklauf über die Scanmittel ausgekoppelt.

11. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zusätzlich zum Mikroskop weitere optische Detektionsmittel zur Erfassung der von der Probe kommenden Strahlung vorgesehen sind.

12. Kombination eines Laser-Scanning-Mikroskopes nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche mit einem Infrarot-Mikroskop oder Emissionsmikroskop

13. Einsatz der Multi-photonen-Laserscanning-Mikroskopie in der Materialuntersuchung.

14. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, insbesondere zur Untersuchung von strukturierten Silizium-Wafern mittels nicht-optischen Nachweistechniken, wie z. B. OBTC oder LIVA.

15. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, zur zerstörungsfreien dreidimensionalen Lokalisierung von Kristalldefekten.

16. Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, unter Verwendung von Anregungslicht im NIR ( $1 > 1000 \text{ nm}$ ), d. h. jenseits der Bandkante (Bandlückenenergie  $E_G$ ) von Silizium, so daß die Strahlung mit geringer Absorption durch i. a. dicke (i. a. dotierte) Silizium-Substrate transmittiert wird und nur am Ort des durch das i. a. hoch-aperturige Mikroskop-Objektiv geformten Fokus hinreichend hohe Intensitäten erreicht werden, so daß Elektronen-Loch-Paare durch den nicht-linearen Multi-Photonen-Anregungsprozeß generiert werden.

17. Kombination der Multi-Photonen-Laserscanning-Mikroskopie und der konfokalen Laser-Scanning Mikroskopie, vorzugsweise zur optischen Inspektion der Topologie des Material oder der Messung der Oberflächenstruktur durch Detektion des optischen Reflexionssignals in einem Gerätssystem.

18. Kombination der Multi-Photonen-Laserscanning-Mikroskopie und/oder der konfokalen Laser-Scanning Mikroskopie, vorzugsweise zur optischen Inspektion der Topologie des Material oder der Messung der Oberflächenstruktur durch Detektion des optischen Reflexionssignals, und/oder der Infrarot-Mikroskopie und/

oder der Emissionsmikroskopie (EMIC) in einem Gerätesystem.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

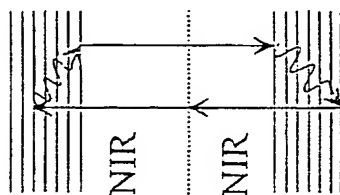
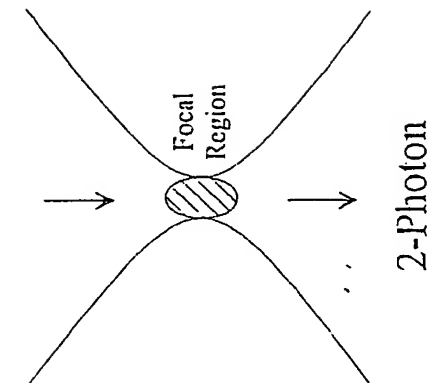


Fig. 1b

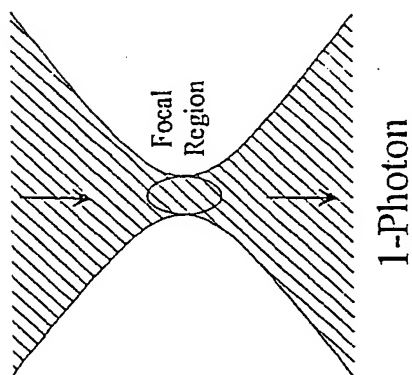
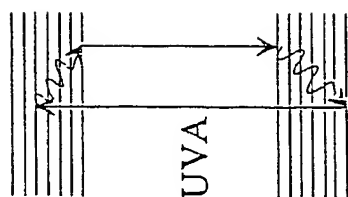


Fig. 1a



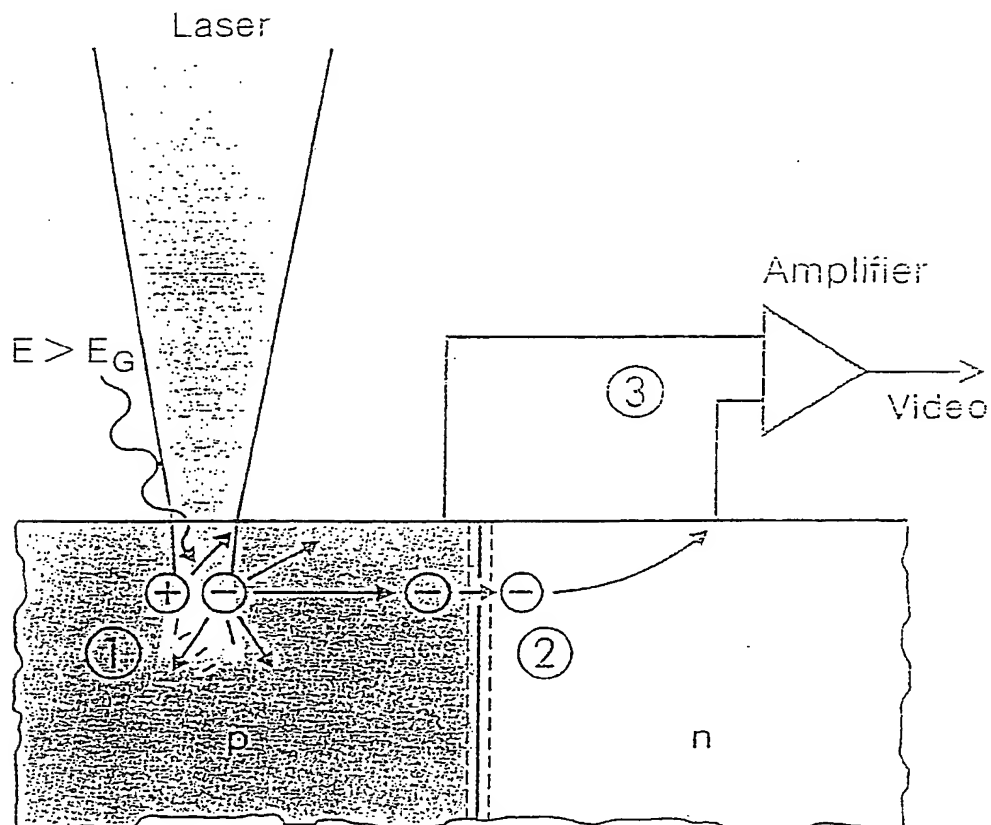


Abb. 2.

